



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학 석사 학위논문

스마트폰 센서를 이용한 다층 건물에서의  
실내 위치 추적 시스템

**An Indoor Positioning System for Multi-story  
Building Using Sensors of Smartphone**



Lee, Kyung Ho (이 경 호)

전자공학과(Department of Electronic Engineering)

전자공학전공(Major in Electronic Engineering)

한림대학교 대학원

Graduate School, Hallym University

2018년도

이 선 우 교수지도  
공학 석사 학위논문

이경호의 석사 학위논문을 합격으로 판정함.



2018년 6월

심사위원장   김점근   \_\_\_\_\_

심사위원   소정민   \_\_\_\_\_

심사위원   이선우   \_\_\_\_\_

## 목 차

1. 서론 .....	1
2. 관련 연구 .....	4
2.1. 무선 신호 기반 측위 기법 .....	5
2.2. 센서 기반 측위 기법 .....	8
3. 제안 방법 .....	11
3.1. 시스템의 구성 .....	12
3.2. 걸음 검출 .....	13
3.3. 이동 방향 검출 .....	14
3.4. 고도 검출 .....	15
3.5. 출입문 통과 검출 .....	17
3.6. 시작 위치 검출 .....	18
4. 실험 및 결과 .....	20
4.1. 개발 어플리케이션 시스템 .....	20
4.2. 걸음 검출 결과 .....	22
4.3. 이동 방향 검출 결과 .....	23
4.4. 계단 인식 결과 .....	24
4.5. 기존 시스템과 비교 .....	28
5. 결론 및 향후 과제 .....	32
참고문헌 .....	33
국문초록 .....	36
영문초록 .....	37

## 표 목 차

표 1. 걸음 검출 실험 결과 .....	20
표 2. 층 인식 실험 결과 .....	24



## 그림 목 차

그림 1. 2009년부터 2017년까지 전 세계 스마트폰 출하량 .....	1
그림 2. 무선통신 기술을 이용한 측위 기법 .....	4
그림 3. 기준점 측위 기법 .....	5
그림 4. Wi-Fi 지문인식법의 개념도 .....	6
그림 5. 다변측위 기법 .....	7
그림 6. PDR의 개념도 .....	8
그림 7. 기존의 PDR과 Wi-Fi 지문 인식이 혼합된 시스템 .....	8
그림 8. 특정 건물의 자기장 지도 시각화 .....	9
그림 9. 서로 다른 시간대에 동일한 경로를 걸을 때 자기장의 세기 .....	10
그림 10. Galaxy S7 센서의 각 축의 방향 .....	11
그림 11. 시스템 구성도 .....	12
그림 12. 한 걸음 주기에 따른 선형 가속도 .....	13
그림 13. 방위각(Azimuth) .....	14
그림 14. 서로 다른 스마트폰의 기압 센서 출력 값 .....	16
그림 15. 건물 내 문을 통과할 때 자기장의 세기 .....	17
그림 16. 엘리베이터 탑승 시 자기장의 세기 .....	18
그림 17. 시작위치를 찾기 위한 기준점 .....	19
그림 18. 어플리케이션 순서도 .....	20
그림 19. 개발한 어플리케이션의 화면 .....	21
그림 20. 저장된 *.csv 파일 .....	22
그림 21. 방위각 양자화 전 후의 실험 결과 .....	23
그림 22. 평지에서의 기압 변화 .....	24
그림 23. 기압을 고도로 변환 한 결과 .....	24
그림 24. 필터가 적용된 고도 변환 결과 .....	25
그림 25. 고도로 층을 양자화한 결과 .....	26
그림 26. 한 걸음마다 고도의 값을 비교하여 만든 패턴 .....	27
그림 27. 다층 건물에서 누적오차 제거 실험 결과 .....	29
그림 28. 다층 건물에서의 실험 결과 .....	30
그림 29. 계단에서 위치 보정 .....	30

## 1. 서론

최근 스마트폰의 사용이 더욱 일반화되면서 스마트폰에 적용되는 통신 및 하드웨어 기술이 급속하게 발전되고 있다. 이러한 기술을 이용한 다양한 어플리케이션이 개발되고 있는데, 대표적으로 다양한 위치 기반 서비스 (Location - Based Services; LBS)가 그 한 예가 될 수 있다[1]. 자동차 내비게이션, Google지도 등은 사용자의 위치를 기반으로 목적지에 대한 길을 안내하는 대표적인 LBS의 서비스이며, 이와 같이 많은 LBS는 실외 환경에서 GPS를 이용하여 위치를 감지한다. LBS는 위치 정보를 사용하여 광고, 마케팅, 안전, 보안등에 활용될 수 있기 때문에 여러 연구가 진행되고 있다.

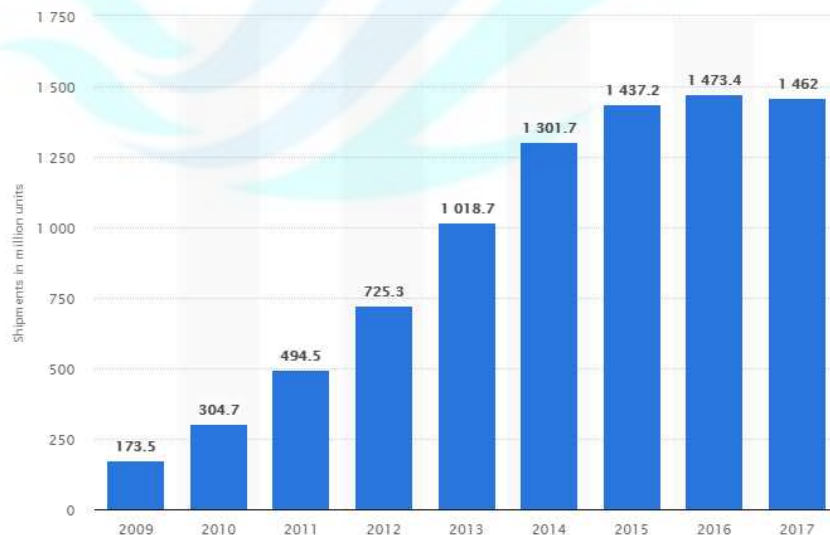


그림 1. 2009년부터 2017년까지 전 세계 스마트폰 출하량<sup>1)</sup>

1) <https://www.statista.com/statistics/271491/worldwide-shipments-of-smartphones-since-2009/>

GPS와 같은 위성항법방법(Global Navigation Satellite System; GNSS)을 이용하여 위치를 파악하는 실외 환경과 다르게 실내 환경에서는 건물의 구조, 통신망 등의 이유로 위치를 추적하는데 어려움이 있다[2][3]. 이러한 이유로 최근 많이 연구되고 있는 보행자 추측 항법(Pedestrian Dead Reckoning; 이하 PDR)은 가속도, 각속도, 지자기 센서 등의 관성 센서를 이용하여 보행자의 걸음을 감지하고 이로 인한 위치 변화량을 축적하는 방식이다. PDR은 스마트폰에 내장되어 있는 가속도 센서, 각속도 센서, 지자기 센서와 같은 관성센서를 사용하기 때문에 별도의 설비가 필요치 않은 장점을 가지고 있다. 하지만 이런 관성 센서만을 사용하여 초기 위치를 알아낼 수 없으며, 직전 위치에서 한 걸음에 의한 위치 변화만을 고려하여 현재 위치를 갱신/추적하는 방법으로 인해 거리 및 특히 방향 감지에서의 작은 오차가 시간이 지날수록 누적되어 큰 위치 오차를 만드는 한계점을 태생적으로 가진다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 최근 많은 연구자들이 Wi-Fi 지문 인식 방법, 비컨 이용 등의 다양한 실내 측위 기법들을 이용하여 해결하려는 노력이 이루어지고 있으며 본 논문에서는 건물 내에서 계단, 엘리베이터와 같이 고도차가 있는 특정 위치를 찾아 이 지점을 지날 때 현재위치를 갱신하여 누적된 위치 오차를 제거하는 방법을 연구했다.

PDR은 관성 센서를 이용해 걸음을 검출하여 이동거리를 축적하여 위치를 추적하는 추측 항법이다. 가속도 센서를 사용하여 선형 가속도의 크기가 미리 지정한 임계점을 넘으면 걸음을 인식하고 이동거리를 축적해 위치를 갱신한다. 이러한 PDR은 관성 센서만을 사용하기 때문에 누적오차로 인한 정확도가 낮아지는 문제점이 있다.

본 논문에서는 기존의 PDR의 문제점을 해결하고자 스마트폰에 내장되어있는 기압 센서를 이용하여 건물의 특정 위치를 찾아 위치를 보정하는 방법을 제안한다. 먼저 관성 센서를 이용하여 사용자의 소지방법을 인식하고 소지방법에 따른 이동방향을 계산한다. 이동방향을 계산한 뒤 사용자의 걸음을 인식할 때 마다 걸음에 대한 주파수를 이용해 한 걸음의 길이를 계산하여 이동 거리를 계산하여 이를 직전 위치에 더해 현재의 위치를 추적한다. 매 걸음을 검출할 때 마다 직전 위치와 현재



위치의 고도의 변화량을 계산하여 이 값이 미리 지정한 임계점을 넘어서는지, 그 값이 양수인지, 음수인지에 따라서 사용자가 평지를 걷고 있는지, 계단을 오르고, 내려가는지의 행동을 인식하고, 계단의 중간지점과 같은 특정 위치를 지나갈 때를 인식해 현재의 위치를 특정 위치로 이동시켜 누적된 오차를 제거하는 방법을 제안하고 실험하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 관련 연구 현황에 대하여 설명하고 3장에서는 제안하는 방법에 대한 내용을 설명한다. 4장에서는 실험결과에 대한 내용을 설명하고 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대한 내용으로 끝을 맺는다.



## 2. 관련 연구

실외에서 보편적인 위치 측정 방법으로는 GPS와 같은 GNSS와 기지국으로부터 송수신된 신호의 사용이 일반적이다. 하지만 실내 환경에서는 위성 신호의 수신에 어려워 사용에 어려움이 있다. 따라서 무선랜 인프라를 갖춘 실내에서 위치를 측정하기 위해 개별AP(Access Point)의 수신 신호 세기를 하나의 지문처럼 이용하는 Wi-Fi 지문 인식 방법이나, UWB(Ultra Wide Band) 신호의 삼각측량법을 이용한 방법, Zigbee, RFID, 블루투스 등 여러 통신 방식의 비컨 등을 이용하는 무선 신호 기반의 측위 방법이 개발되었다.

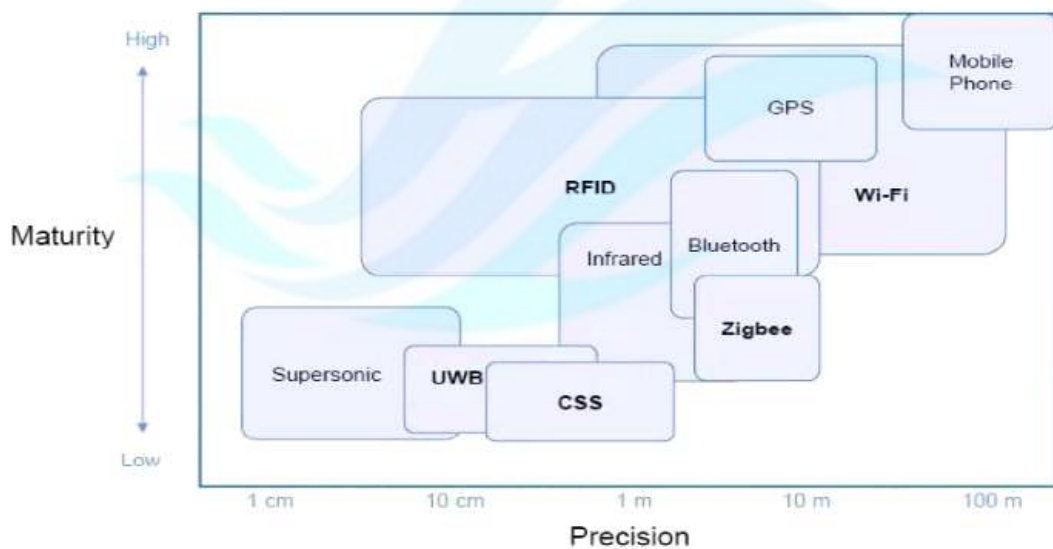


그림 2. 무선통신 기술을 이용한 측위 기법[5]

그림 2는 무선 신호 기반 측위 기술의 개발 척도를 나타낸다. 세로축은 기술의 완성도를 나타내며, 가로축은 측위 정밀도를 나타낸다. UWB는 측위 정밀도가 약 10cm로 비교적 높은 해상도를 가지는 측위 방법이지만, GPS, Wi-Fi, Mobile Phone 등의 기술에 비하여 개발이 많이 진행되지 않았다. RFID와 bluetooth를 이용한 실내 측위 방법은 연구가 많이 진행되었고 비교적 높은 해상도를 가지지만, 추가적인 장

비의 설치를 요구하는 단점이 있기 때문에, 가속도, 각속도, 지자기 센서 등의 관성 센서를 이용하여 이동경로를 계산하여 위치를 추정하는 센서기반의 측위 알고리즘이 개발되어 왔다[4]. 이 중 무선 신호 기반 측위 기법과 센서 기반의 측위기법을 아래 간략히 소개한다.

## 2.1. 무선 신호 기반 측위 기법

무선 신호 기반 측위 기법 중 가장 대표적인 방법은 Wi-Fi를 이용한 방법이다. Wi-Fi를 이용한 방법 중 대표적인 측위 기술은 기준점 측위(Cell ID), WI-FI 지문인식(Fingerprinting), 다변측위(Multi-lateration) 등의 방법들이 있다. 이 측위기술들의 공통점은 Wi-Fi AP(Access Point)의 위치를 알고 있다는 조건을 가진다[6].

기준점 측위는 기지국 기반 휴대전화 위치 추적 기술의 아이디어를 적용시킨 방법이다. 특정 건물에서 단말기가 접속한 AP의 전송거리 내에 위치하고 있다고 추정하는 방법으로, AP를 이용한 기준점 측위의 경우 AP의 배치에 따라 정확도가 가변적일 수 있다. 그림 3과 같이 각 AP를 기준으로 기준점(Cell)을 구분하여 각 AP로부터 수신된 신호 세기를 비교한다. 수신된 신호 세기를  $s_2 > s_4 > s_1 > s_3$ 와 같이 정렬하여 가장 신호 세기가 강한 지역의 기준점 즉 Cell2에 위치한다고 추정하는 기법이다.

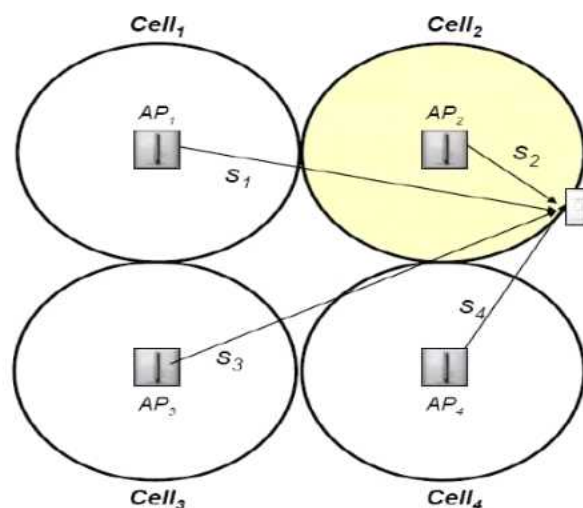


그림 3. 기준점 측위 기법

Wi-Fi 지문인식법은 Wi-Fi 적용한 이래 가장 활발히 연구된 기법 중 하나이다 [7]. 실내 환경에서의 다양한 장애물로 인해 거리에 따른 수신신호의 세기가 일정하지 않고 편차가 크기 때문에 위치 추적 서비스 지역의 각 기준점 별로 다수의 AP로부터 수신된 신호세기를 수집하여 가장 유사한 특성을 갖는 위치를 단말의 위치로 추정하는 방법이다. 사전에 각 위치에 따른 데이터베이스(라디오 지도)를 만들어야 하는 단점이 있어 넓은 지역에서의 데이터베이스 구축에는 필요한 시간과 데이터베이스의 크기가 증가하는 문제점을 가진다.

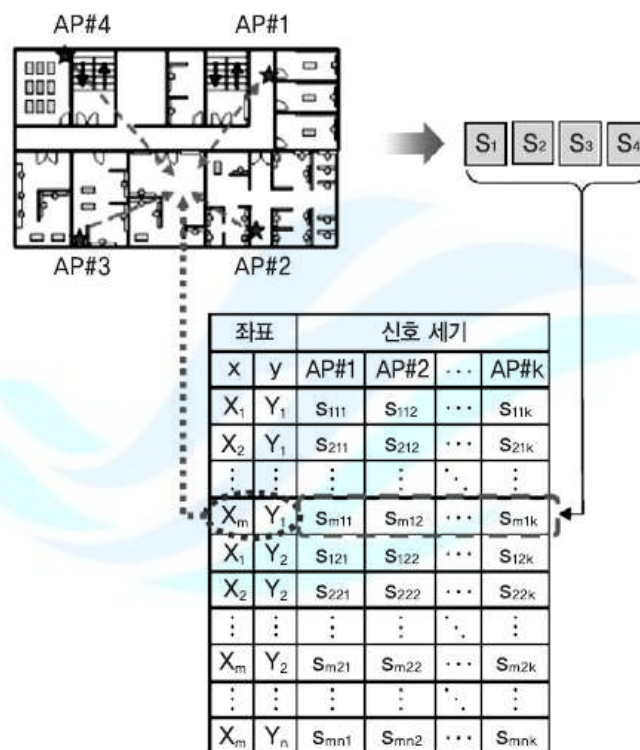


그림 4. Wi-Fi 지문인식법의 개념도[8]

Wi-Fi 지문인식법은 그림 4와 같은 데이터베이스가 필요하다. 이 데이터베이스는 각 기준점 별로 여러 AP로부터 수신된 신호의 최댓값, 최솟값, 평균, 표준편차 등의 신호 특성을 가지고 있으며, 수신된 신호를 데이터베이스와 비교하여 가장 유사한 특성을 찾아 현재의 위치를 인식하는 방법이다.

다변측위 기술은 수신신호세기, 시간을 거리로 변환하여 AP로부터 단말기의 위치를 찾는 방법이며, 최소 3개 이상의 기준점 AP가 필요하다. 기준점 측위와 마찬가지로 각 AP들의 위치는 사전에 제공되어야 하며, 각 AP로부터 수신된 신호 세기, 시간을 이용하여 AP로부터의 거리를 계산한다. 시간을 이용한 측위가 가장 높은 정확도를 가지지만, 단말기와 AP의 동기화 등의 문제로 인하여 수신된 신호 세기를 이용하여 거리를 계산하는 방법이 일반적이다. 간단한 계산이 가능한 방법이지만, 실제 실내 환경 내 예측하기 힘든 요인들로 인하여 결과의 정확도가 낮아진다.

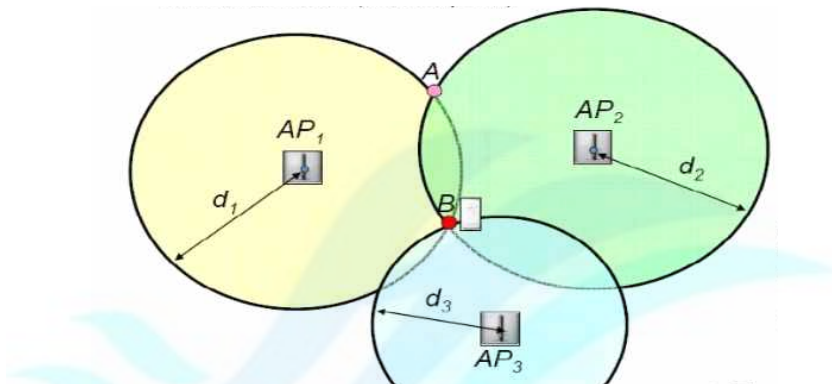


그림 5. 다변측위 기법

그림 5는 다변측위 기술을 간략하게 표현한 그림이다. 각 AP로부터 수신된 신호 세기를 이용하여 거리로 변환한다. 각 AP의 위치는 사전에 제공되므로 변환된 거리  $d$ 를 이용하여 각 AP를 중심으로  $d$ 를 반지름으로 가지는 원을 그린다. 이때 3개의 원의 교차점 B를 단말기의 위치라 추정하는 측위 기법이다. 3개 보다 적은 수의 AP를 사용할 경우 A, B 두 개의 교차점이 생기기 때문에 최소 3개 이상의 AP를 필요로 한다.

## 2.2. 센서 기반 측위 기법

센서 기반 측위 기술은 스마트폰 내 가속도, 각속도, 지자기, 기압 센서 등의 내장화가 본격화 되면서 최근 PDR로 대표되는 센서 기반 측위기술이 주목 받고 있다. PDR은 한 걸음의 길이, 방향을 축적하여 위치를 추적한다. 걸음 길이를 추정하기 위한 여러 방법들이 제안되었다[9].

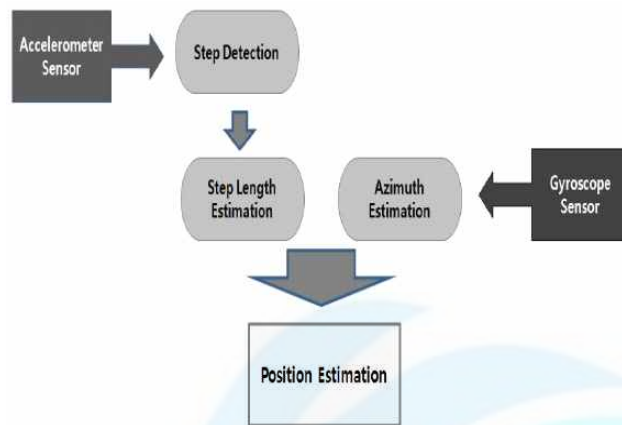


그림 6. PDR의 개념도[10]

PDR의 개념도는 그림 6과 같다. 가속도 센서를 사용하여 걸음을 인식하고 한 걸음의 길이를 추정한다. 이동하는 방향은 각속도 센서를 사용하여 방위각을 추정한다. 이후 이동방향과 이동거리를 계산하여 위치를 추정하는 방법이다. PDR의 주된 문제는 누적되는 오차로 인해 정확도가 시간이 지남에 따라 급속히 저하되는 것이다. 이를 보정하기 위한 그림 7과 같은 혼합형 시스템도 제안되었다[11].

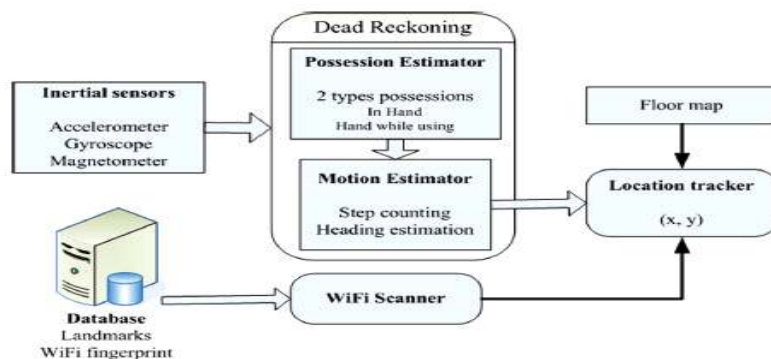


그림 7. 기존의 PDR과 Wi-Fi 지문 인식이 혼합된 시스템

지금까지 가장 활발히 연구가 진행된 방식은 그림 7과 같이 PDR과 Wi-Fi 지문인식 측위를 혼합한 방식이다. PDR이 가지는 누적 오차를 Wi-Fi 지문 인식 방법으로 미리 지정한 특정 장소들을 지나가면 이를 인식하여 위치 오차를 제거하는 혼합된 방법이다.

최근에는 지자기 센서를 혼합한 기법도 연구가 활발히 진행 되고 있다. 지구 자기장은 전 세계별로 분포가 다르게 보이는데, 우리나라의 경우에는 50uT(마이크로테슬라)의 권역대에 위치해 있다[12]. 건물 내에서는 H빔(철근)구조물, 엘리베이터 등의 원인들로 인하여 동일한 건물 내에서도 서로 다른 자기장의 분포를 가지기 때문에 특정 장소를 구분할 수 있다.

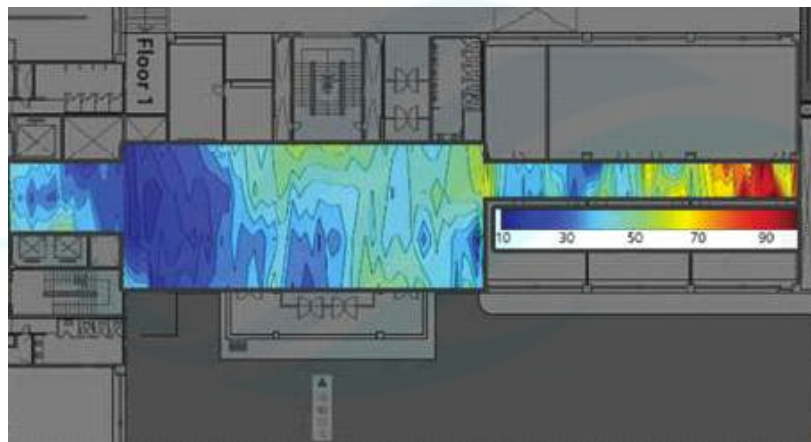


그림 8. 특정 건물의 자기장 지도 시각화[13]

자기장을 이용한 측위 기법의 장점은 시간의 영향이 적다는 점이다. 그림 9는 서로 다른 시간에 동일한 경로를 걸으며 측정한 자기장의 세기이다. 시간과 환경에 따라서 변화가 큰 Wi-Fi 등의 무선신호 측위 기술과 비교할 때 자기장의 세기는 이동인구가 많은 시간대와 그렇지 않은 시간대에도 상당히 유사하게 나타난다.



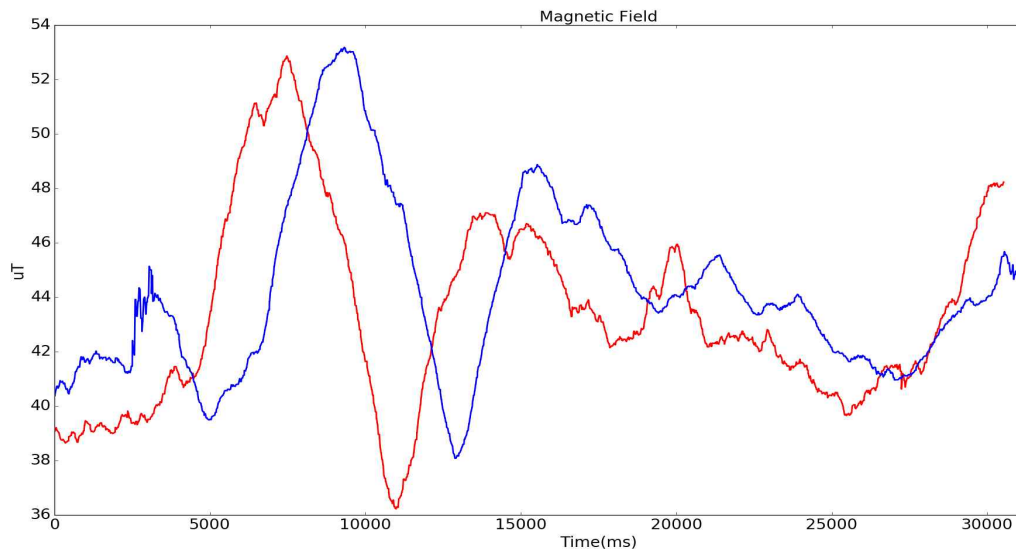


그림 9. 서로 다른 시간대에 동일한 경로를 걸을 때 자기장의 세기

기압 센서를 사용한 연구로는 엘리베이터와 에스컬레이터의 각속도 등의 변화가 없이 고도가 변하는 특징을 이용하여 위치를 찾는 연구와, 계단으로 층을 이동할 때 기압계를 사용하여 고도를 산출하는 연구가 진행되었다[14]. 이외에도 붕괴지역 매몰자의 매몰깊이 추정에 대한 연구에서는 기압 값을 고도로 변환하여 높이를 찾아내는 시뮬레이션에 대한 연구가 진행된 적이 있으며[15], 이와 같이 최근 많은 스마트폰에 기압계 센서가 내장됨에 따라 기압 센서를 사용하는 연구가 진행되고 있는 추세이다.



### 3. 제안 방법

본 논문에서는 PDR의 누적 오차 문제를 해결하고자 내장된 기압센서를 이용하여 층간의 이동을 감지하고 이를 기초로 위치를 보정하는 방법을 제안한다. PDR은 직전 위치를 기준으로 이동 거리를 더해 위치를 추적하는 방법으로 작은 오차들이 모여 큰 누적 오차를 만드는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 PDR외의 측위기법을 혼합하여 사용되는 추세이나 Wi-Fi 지문 인식, RFID, 비컨 등과 같이 추가적인 설비를 필요로 하거나 더 많은 사전단계 작업을 요구한다. 최근 여러 종류의 스마트폰에는 계단 오르기 등산 등의 운동을 기록하는 어플리케이션을 제공하기 위해 기압 센서가 내장되어 있다. 이러한 점을 이용하여 한 걸음을 검출할 때 마다 고도의 변화량을 계산해 현재 계단, 엘리베이터 등의 특정 위치를 인식하는 방법에 대해 실험하고, 특정 위치에서의 누적 오차 제거를 제안한다.

사용된 스마트폰은 Samsung사의 스마트폰인 Galaxy S7을 사용했다. 스마트폰을 소지하는 자세는 여러 방법이 있지만 본 논문에서는 실험자가 스마트폰의 화면을 세로방향으로 주시하고 걷는 것으로 가정했다.

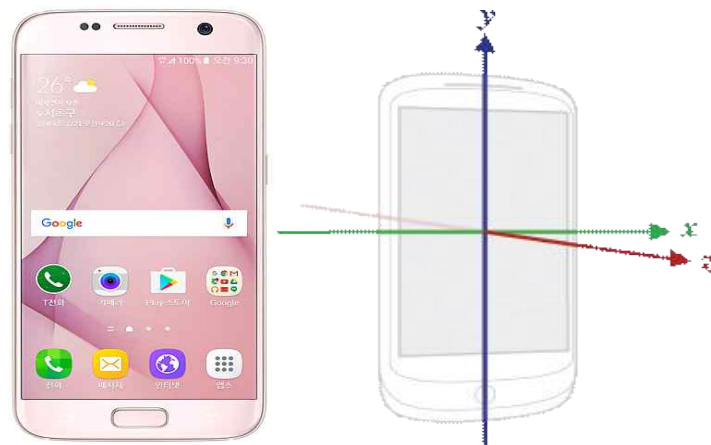


그림 10. Galaxy S7 센서의 각 축의 방향

### 3.1. 시스템의 구성

기존의 PDR은 관성센서를 사용하여 진행 방향과 걸음을 검출한다. 제안된 시스템은 그림 11과 같이 2개의 추측 항법 부분과, 기압 센서 부분으로 구성되어 있다. 먼저 추측 항법 부분으로 본 연구에서는 기존에 개발한 소지방법 기반 방법 추측 항법을 사용하였다[17]. 이 방법은 스마트폰을 소지하는 방법에 따라 보행자의 이동 방향과 스마트폰의 상대 방향을 결정하는 방법이다. 이후 기압 센서 부분은 높이 정보와 계단을 오르거나 내리는 행동들을 인식하여 특정 위치에서 위치를 보정하는 부분이다.

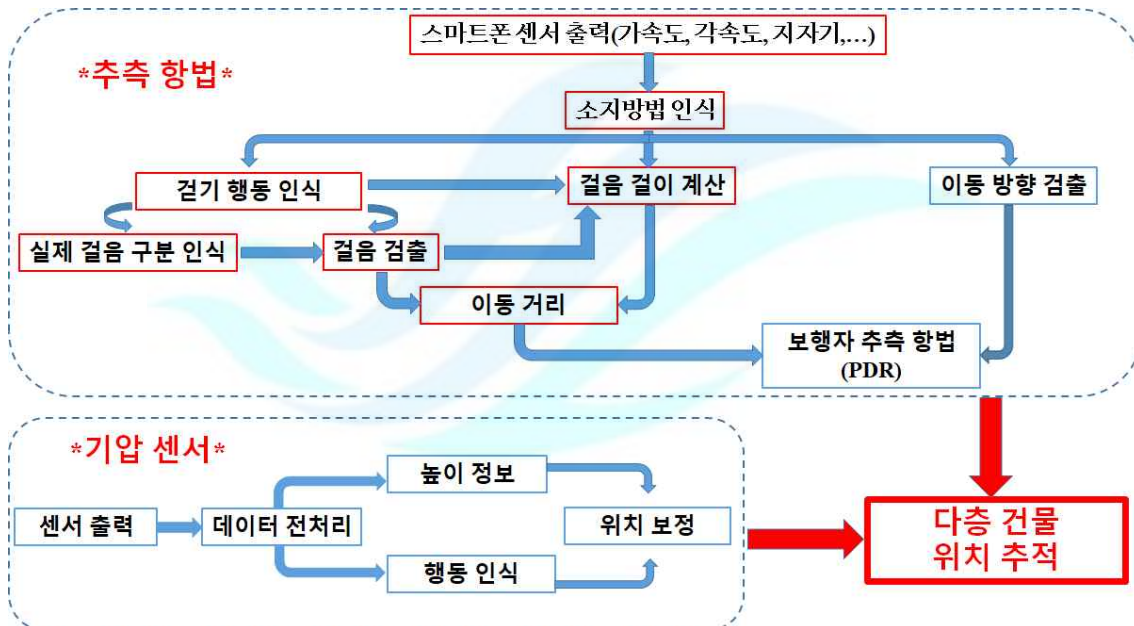


그림 11. 시스템 구성도

제안하는 방법의 기본 아이디어는 만약 보행자가 계단을 이용하여 한 층을 올라가거나 내려가는 것을 감지할 수 있다면 계단의 위치로 현재 위치를 보정하여 전체 시스템의 추적 성능을 개선하는 것이다. 최근의 스마트폰들은 기압센서를 내장하고 있으므로 이 센서를 이용하여 일정 정도 이상의 고도 변화를 감지하면 보행자가 계단의 특정 위치에 있음을 판단할 수 있고 이 정보를 기초로 현재 위치를 갱신하는

것이다. 이 방법을 통해 기존의 단층 실내만을 대상으로 했던 것을 다층 실내 환경에서도 위치 추적이 가능해졌다.

### 3.2. 걸음 검출

걸음 길이는 선형 가속도의 peak detection을 이용한 걸음 검출을 진행한다. 실제 위치의 변화량은 걸음 수에 비례한다. 그림 12는 걸음의 한 주기 동안의 선형 가속도 변화를 나타낸다.

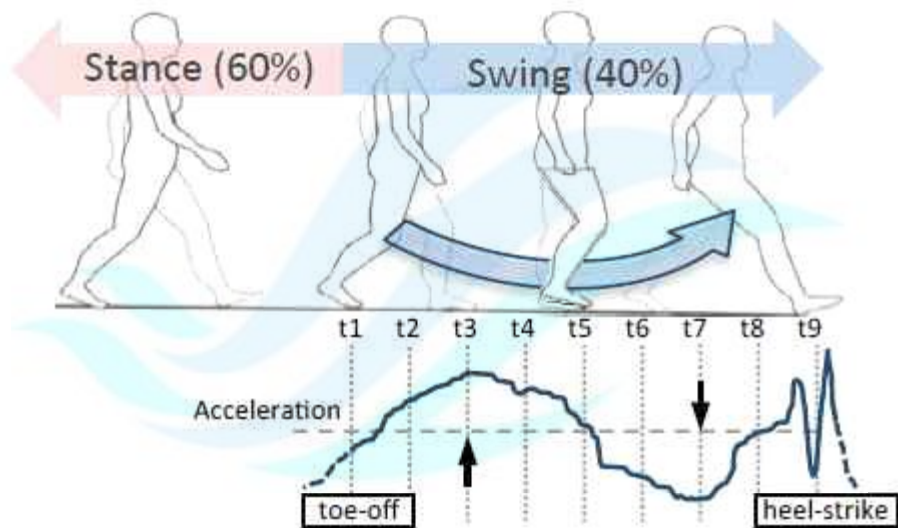


그림 12. 한 걸음 주기에 따른 선형 가속도

그림 12에서 볼 수 있듯이, 인간의 한 걸음 주기는 Stance와 Swing 두 단계로 진행된다. Swing 단계에서 전반부에 최댓값을 찾을 수 있으며, 후반부에 최솟값을 찾을 수 있다. 그러므로 최댓값과 최솟값의 변화량과, 이때 걸리는 시간( $t_7-t_3$ )을 계산할 수 있다. 이러한 값들이 일정한 문턱 값을 넘으면 이를 한 걸음으로 인식한다.

한 걸음의 길이는 빠른 속도로 걷는 경우가 일반적인 속도로 걷는 경우에 비해 걸기 때문에 한 걸음의 주파수를 걸음 길이 계산에 사용한다[18].

$$Wf = \frac{1}{\alpha \times (|p1 - p2|)} \quad (1)$$

$$l = (h \times 0.415) \times Wf \quad (2)$$

식 (1)에서  $Wf$ 는 한 걸음의 주파수를 의미한다.  $\alpha$ 는 샘플 시간이고,  $p1$ 과  $p2$ 는 각각 최댓값과 최솟값을 의미한다. 식 (2)에서  $l$ 은 한 걸음의 길이를 의미하여,  $h$ 는 보행자의 키를 나타낸다[19]. 이후 한 걸음의 길이를 걸음 수를 곱하여 이동 거리를 계산한다.

### 3.3. 이동방향 검출

걸음을 검출하여 이동거리를 계산하면 이때의 이동방향을 알아야 한다. 이동방향을 구하기 위해 가속도 센서와 지자기 센서를 사용하여 orientation 값을 얻을 수 있다. Orientation의 출력은 방위각(Azimuth), 경사도(Pitch), 좌우회전(Roll)이 있다.

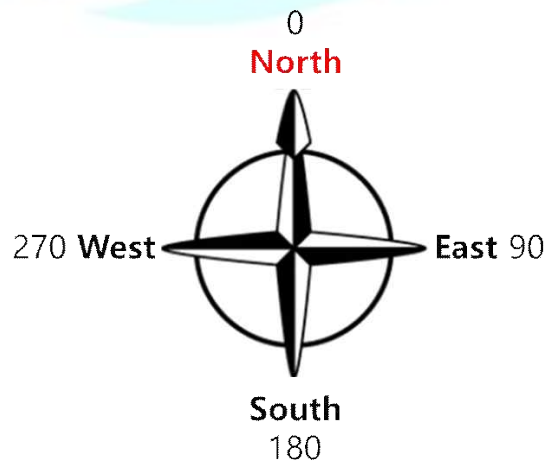


그림 13. 방위각(Azimuth)

방향 검출은 Orientation의 출력 중 하나인 방위각을 이용한다. 방위각은 그림 13과 같이 북쪽을 기준으로 하는 값을 말한다. 북쪽을 기준으로 동, 서, 남을 향할 때 각각 90, 180, 270의 값을 나타낸다. 검출한 이동 방향과 이동거리를 사용하여 초기 위치에서 이동 궤적 좌표를 생성한다.

$$\begin{aligned} x(i) &= x(i-1) + \cos(\theta) \times l \\ y(i) &= y(i-1) + \sin(\theta) \times l \end{aligned} \quad (3)$$

위 식 (3)에서  $x(i-1), y(i-1)$ 는 각각 이전의 x, y 좌표이다.  $\theta$ 는 방위각을 나타내며,  $l$ 은 걸음 검출의 결과인 한 걸음의 길이이다. 보행자의 걸음을 검출할 때 마다 좌표를 생성하여 이동 궤적을 나타내며, 마지막 좌표가 현재의 위치를 의미하게 된다.

### 3.4. 고도 검출

기압은 고도가 높아짐에 따라 낮아지는 특징을 갖는다. 이러한 특성을 이용하여 해수면 압력을 이용해 고도를 계산할 수 있다[20].

$$P_r(t) = P_0(t) \times \left(1 - \frac{H(t)}{S_a}\right)^{S_b} \quad (4)$$

식 (4)에서  $P_r(t)$ 는 기압계의 기준 값을 의미한다.  $P_0(t)$ 는 해수면 압력 값이며,  $H(t)$ 는 고도이다.  $S_a, S_b$ 는 온도, 중력 가속도 및 건조 공기의 물 질량을 사용하여 계산된 상수 스케일 팩터를 나타낸다[21].

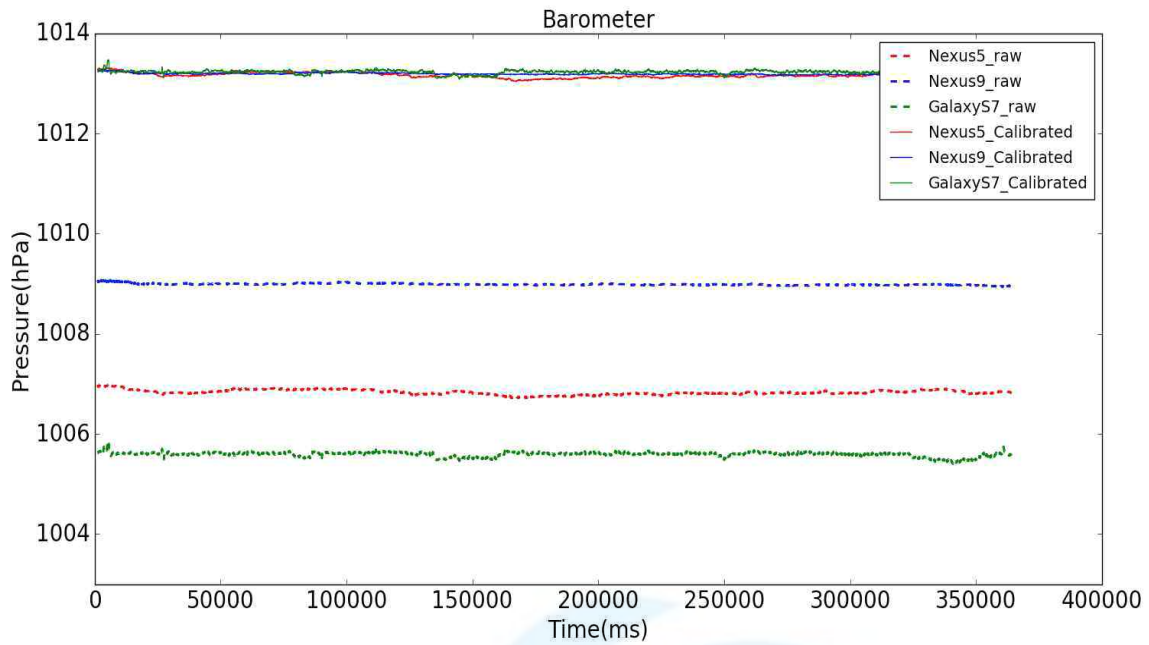


그림 14. 서로 다른 스마트폰의 기압 센서 출력 값

각 스마트폰 센서의 바이어스로 인해 동일한 위치(고도)에서도 스마트폰의 종류별로 다른 센서 값이 출력된다. 따라서 바이어스를 제거하기 위한 일련의 작업이 필요하다.

$$P_b = P_r(t) - P_m(t) \quad (5)$$

$$P_c(t) = P_m(t) + P_b \quad (6)$$

$P_b$ 는 바이어스이며,  $P_m(t)$  측정된 값,  $P_c$  보정된 센서의 값을 의미한다. 그림 14에서 확인할 수 있듯이 3개의 스마트 디바이스의 기압 센서의 출력이 보정된다.

안드로이드에서 이러한 계산을 위해 `SensorManager` 클래스의 메소드 중 하나인 `getAltitude()`를 제공한다. 기압과 해수면 압력을 2개의 매개변수로 하여 해발고도를 미터(m) 단위로 계산하여 출력하는 메소드이며 해수면 압력은 기상청 관측자료 등

에서 확인할 수 있으며, XML 파싱 등을 이용하여 가져올 수 있다. `getAltitude()` 메소드를 통해 얻은 고도만을 사용하여 층의 이동을 검출할 경우 센서의 오차와 소지하는 방법에 따라서도 결과가 달라질 수 있기 때문에 이를 방지하기 위해 연속된 걸음에 대한 패턴을 만들어 평지, 오르막, 내리막을 구분하도록 한다.

실험이 진행되는 공학관은 한 층의 계단이 24개이다. 12개의 계단을 지나면 평지 구간이 나오고 다시 12개의 계단을 지나 층이 바뀌는 형태이다. 계단에서의 위치 보정을 위해 계단을 12개 단위로 구분해 건물 전체를 0.5층 단위로 구분한다. 연속된 걸음동안 층의 변화가 있을 때 사용자가 층을 이동했다고 인식하며, 위치 보정을 수행한다. 층의 구분을 위한 패턴은 연속된 5, 6, 9, 11등의 걸음단위로 지정하여 실험을 진행하고 가장 효과적인 단위를 찾아 제안 시스템에 적용할 수 있도록 한다. 계단에서의 위치 보정은 평지 구간에서 계단의 가운데로 한다.

### 3.5 출입문 통과 검출

건물 내에서 문은 건물의 벽에 구멍을 뚫은 것과 비슷한 구조이다. 특히 실험이 진행된 공학관의 구조는 일자로 된 형태의 벽에 문이 있어 문을 통과할 때 자기장 세기가 벽에 의한 영향을 크게 받는다. 건물의 엘리베이터는 모터, 철근 구조 등으로 인하여 자기장의 영향을 많이 받는데 이러한 점들을 이용하여 실내에서 문을 통과 하거나 엘리베이터에 탑승하는 등의 상태를 알아낼 수 있다.

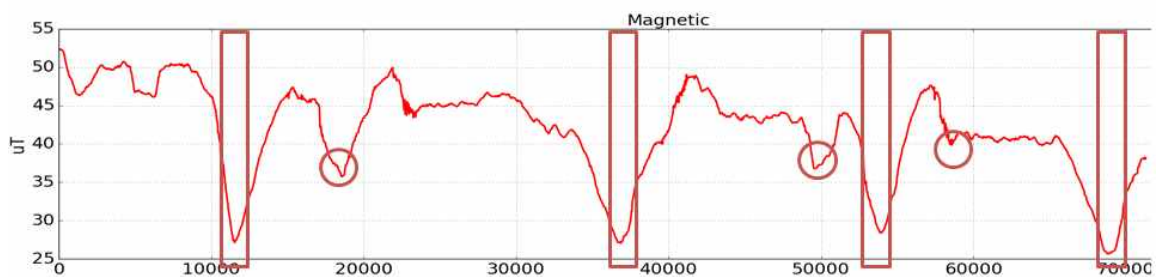


그림 15. 건물 내 문을 통과할 때 자기장의 세기

그림 15는 실내에서 문을 통과 할 때의 자기장 세기의 결과 값 이다. 사각형으로 표시된 부분이 실제 문을 통과하는 시점이고, 원형으로 표시된 부분은 문을 다시



나가기 위해 뒤로 180도 회전하여 다시 문을 통과할 때이다. 문을 통과한 후에는 다시 자기장의 세기가 강해지고 문을 통과하는 시점에만 세기가 약해지는 것을 확인할 수 있다.

엘리베이터 탑승 시에는 자기장의 세기가 현저히 약해지는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 문을 통과할 때와 다르게 엘리베이터 안에 있는 동안 약해진 자기장의 세기가 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 평소 엘리베이터에 탑승하면 휴대전화의 전파 수신 감도가 나빠지는 것을 확인할 수 있다. 전파 방해의 영향이 있어 자기장의 세기가 나빠지며 엘리베이터에서 나오면 다시 자기장의 세기가 이전으로 회복되는 것을 그림 16의 결과로 보여준다.



그림 16. 엘리베이터 탑승 시 자기장의 세기

### 3.6 시작 위치 검출

PDR은 시작 위치를 알아낼 수 없다. 본 논문에서는 시작위치를 알아내기 위해 Wi-Fi 지문인식법을 활용하였다. Wi-Fi 지문인식법을 사용하기 위해 기준점을 정해야 하는데 이는 그림 17과 같이 공학관 3층에 4개의 기준점을 지정하였다. 1320, 1327, 1329, 1336으로 기준점을 정했는데 그 이유는 본교 전자공학과 학생들이 자주 출입하는 곳이기 때문이다.



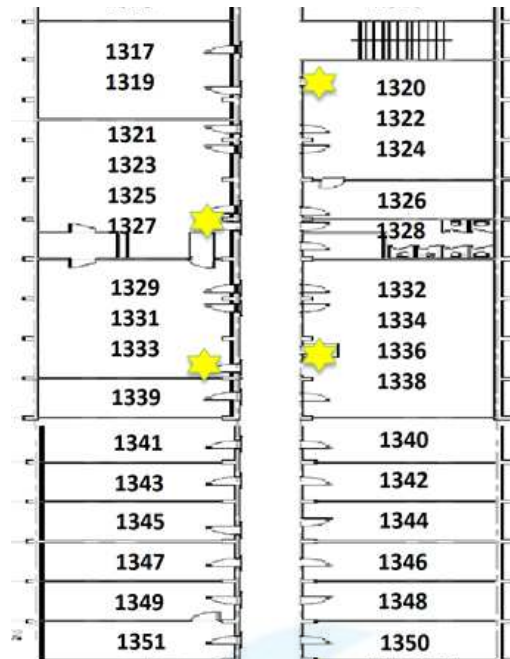


그림 17. 시작위치를 찾기 위한 기준점

Wi-Fi 지문인식법의 구현은 Android WIFI manager라는 클래스를 이용해 구현했다. Wifi manager는 AP들의 SSID, BSSID, RSSI의 스캔 결과를 출력한다. 이러한 방식으로 각 기준점에서 100회 Wi-Fi를 스캔하여 Wi-Fi 라디오 지도를 생성 후 이를 위치 추적 프로그램 실행 최초에 스캔 한 결과와 라디오 지도를 비교하고 시작 위치를 찾는다.

## 4. 실험 및 결과

본 장에서는 개발한 어플리케이션에 대해 간략히 설명하고 걸음 길이, 이동 방향, 계단 인식검출 결과와 기존 시스템과 비교 결과에 대해 설명한다.

### 4.1 개발 어플리케이션 시스템

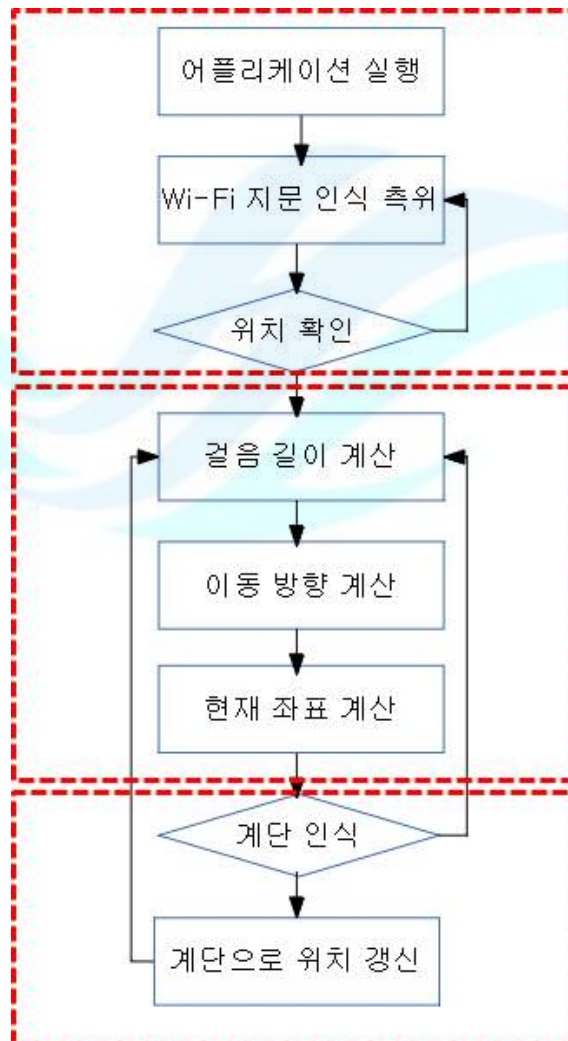


그림 18. 어플리케이션 순서도

그림 18은 개발 어플리케이션의 순서도이다. 처음 어플리케이션을 실행하면 그림 19의 화면이 나타난다. 어플리케이션에 현재 해수면 기압과 사용자의 신장(키)와 해수면 기압을 입력한다. 이후 START 버튼을 터치하게 되면 순서도와 같이 어플리케이션이 동작한다. 먼저 Wi-Fi 지문 인식을 적용하여 현재의 위치를 찾는 태스크를 실행한다. 이 태스크는 최초 1회만 자동 동작하며 어플리케이션의 버튼을 터치하여 수동으로도 실행이 가능하다. 최초 위치를 찾는 작업이 완료되면 기준점을 현재의 좌표로 지정하고 기존의 PDR을 실행하게 된다. 이후 사용자가 계단에 위치해있다고 인식될 때 이전 위치에서 가장 가까운 계단의 위치로 현재의 위치를 보정하여 누적 오차를 제거하는 시스템이다.

The screenshot shows the 'PDR\_2' application interface. It is divided into several sections:

- Section 1:** A table of sensor data including Acceleration (X, Y, Z), Linear Acceleration (X, Y, Z), Magnetometer (X, Y, Z), Gyroscope (X, Y, Z), and Rotation (X, Y, Z).
- Section 2:** A section for 'COUNTING TIME' and 'BODY status' with fields for Step count, Step Length, Std LPP, FusedAccelMag, and PRESSURE. It also includes 'MOTION' status (Walking Status, DISTANCE, DISTANCE\_integral, avgFused).
- Section 3:** A section for 'ALTITUDE' with fields for '현재 층' (Current Floor) and '각 변화' (Angle Change). Below this is a text input field for 'Insert map. Ex: 1023.24' and another for 'Insert your height (meters) Ex: 1.69'.
- Section 4:** A 'START' button and a section for 'FuAnName', '8DirAngles', 'FusedAngle', and '8Directions'. At the bottom, there are three buttons: 'DISP\_MAP', 'TRIGGER', and 'WIFI'.

그림 19. 개발한 어플리케이션의 화면

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	Time	ax_m	ay_m	az_m	grax_m	gray_m	graz_m	lax_m	lay_m	laz_m	mx_r
2	0	-1.03193	5.796539	7.4438	-0.51529	5.761795	7.918746	-0.51664	0.034744	-0.47495	
3	3	-1.03193	5.796539	7.4438	-0.51529	5.761795	7.918746	-0.51664	0.034744	-0.47495	
4	16	-0.51237	5.719923	7.415069	-0.4408	5.800602	7.894874	-0.07158	-0.08068	-0.4798	
5	19	-0.51237	5.719923	7.415069	-0.4408	5.800602	7.894874	-0.07158	-0.08068	-0.4798	
6	52	-0.44055	5.844425	7.652103	-0.37846	5.798737	7.899475	-0.06208	0.045688	-0.24737	

그림 20. 저장된 \*.csv 파일

그림 19에 표시된 1번 영역은 현재 센서의 값들을 표시해 주는 곳이며, 2번 영역은 고도에 관한 내용을 표시해 준다. 3번 영역에는 해수면 기압과 사용자의 신장을 입력하고, 4번영역의 버튼들은 각각 위치 추적 시작, 지도표시, 센서 수집 시 기록을 위한 트리거, Wi-Fi 지문 인식을 위한 버튼이 있다. 어플리케이션을 중지 시키면 그림 20과 같은 csv 파일형태의 각 센서 값을 기록한 파일을 저장한다. 저장된 파일은 사전 단계에서 건물의 특성을 분석하고 이를 기초로 실시간 위치 추적이 가능하도록 임계값들을 설정하는데 사용된다.

## 4.2 걸음 검출 결과

걸음 검출 실험은 20대 남성 4명의 피험자가 직선구간을 100걸음 씩 2번 걷는 방법으로 진행되었으며 실험 장소는 공학관 3층으로 고정하였다. 실험의 결과는 표 1과 같다.

	실제 걸음 수	피험자1	피험자2	피험자3	피험자4	합계
실험 1	100	107	106	101	100	414
실험 2	100	104	102	100	104	410
총 걸음	800	211	208	201	204	824

표 1. 걸음 검출 실험 결과

걸음 검출 실험 결과 총 800 걸음을 걸었으나 인식된 걸음 수는 824걸음으로 24개의 오차를 갖는 97%의 정확도를 얻었다. 걸음 검출 실험을 진행하던 중 알게된 사실은 직선으로 걸어가는 중 잠시 멈춰 하는 등의 행동을 할 때 한 걸음이 2걸음으로 인식되는 현상이 종종 나타났다. 이러한 원인은 Peak detection 방식의 문제점으로 멈출 때 선형 가속도에 영향을 미치기 때문이라 판단된다.

### 4.3 이동 방향 검출 결과

실험환경인 공학관의 특성을 이용하고자 0~360도로 표현되는 방위각을 45도 씩 북, 북동, 동, 남동, 남, 남서, 서, 북서 쪽 과 같이 8개의 방향으로 양자화 하여 이동방향을 계산하는데 사용하였는데, 이는 공학관이 폭이 좁은 일자형태의 복도가 많기 때문에 이동방향의 변화에 둔감해야 측위 정확도가 높아지기 때문이다. 건물의 엘리베이터 쪽 x좌표를 0이라 가정하기 때문에 동편으로 갈수록 x좌표가 커지도록 해당 방향의 각도를 90도라 가정했다.

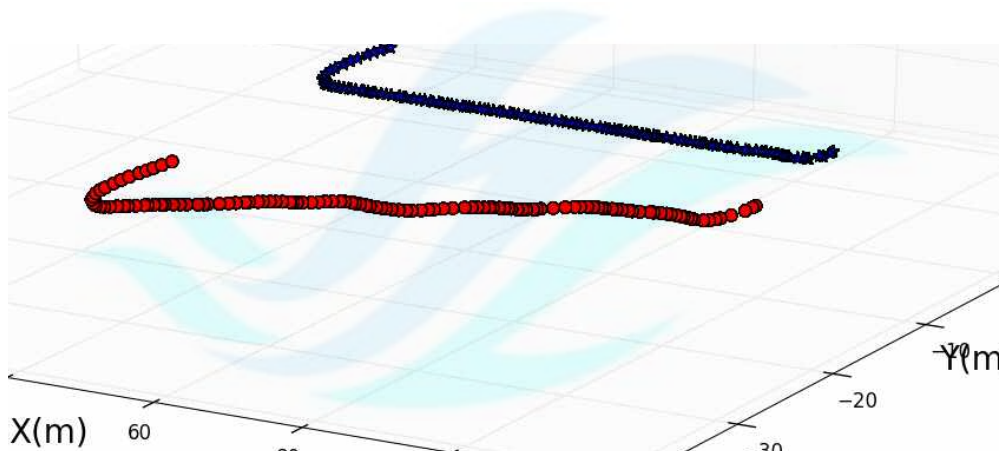


그림 21. 방위각 양자화 전 후의 실험 결과

그림 21은 방위각 양자화 전, 후를 비교하기 위해 이동궤적을 시각화한 모습이다. 붉은색으로 표시된 부분은 방위각을 양자화하기 전의 데이터이며, 파란색으로 표시된 부분이 양자화가 진행된 후의 결과이다. 실제로 복도의 직선을 이동했지만 양자화 전의 데이터를 보면 대각선으로 이동궤적이 생성되는 모습을 확인 할 수 있다. 하지만 양자화 후의 데이터는 일정 각도 이내의 값은 한 방향으로만 인식 하기 때문에 실제의 이동경로와 같은 이동궤적을 확인할 수 있다.

#### 4.4 계단 인식 결과

기압 센서의 출력과 해수면 기압을 3.4절의 수식 4에 대입하여 고도를 계산한다.



그림 22. 평지에서의 기압 변화

그림 22는 평지를 걸을 때 기압 센서의 출력의 변화이다. 평지를 걷는 구간임에도 0.09hPa의 차이를 보인다. 이를 고도로 변환하면 약 0.8m 정도의 높이이다. 이는 층간 이동으로 위치를 보정하는데 매우 큰 잡음으로 적용된다.

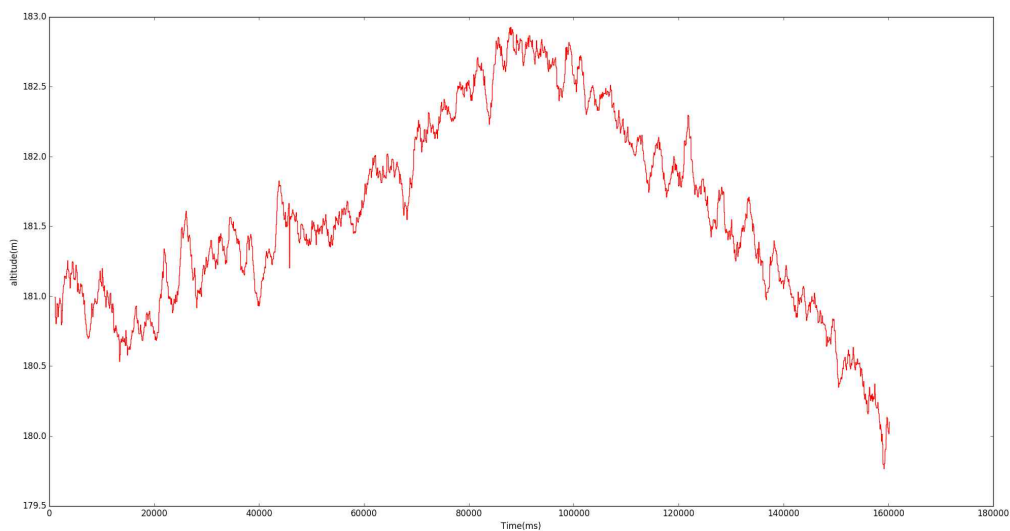


그림 23. 기압을 고도로 변환한 결과

그림 23는 계단을 이용하여 1층에서부터 3층까지 이동한 후 다시 1층으로 내려올 때의 고도를 시각화한 모습이다. 센서 잡음의 영향으로 이 값을 그대로 사용하기에는 부적절하다는 것을 보여준다. 이런 문제를 해결하기 위해 디지털 저역 통과 필터(Low Pass Filter; LPF)를 적용시켰다. 필터의 파라미터는 필터 설계 프로그램인 WinFilter<sup>2)</sup>를 사용하여 계산하였으며, 10Hz 차단 주파수를 가지는 4차 LPF를 설계하였다.

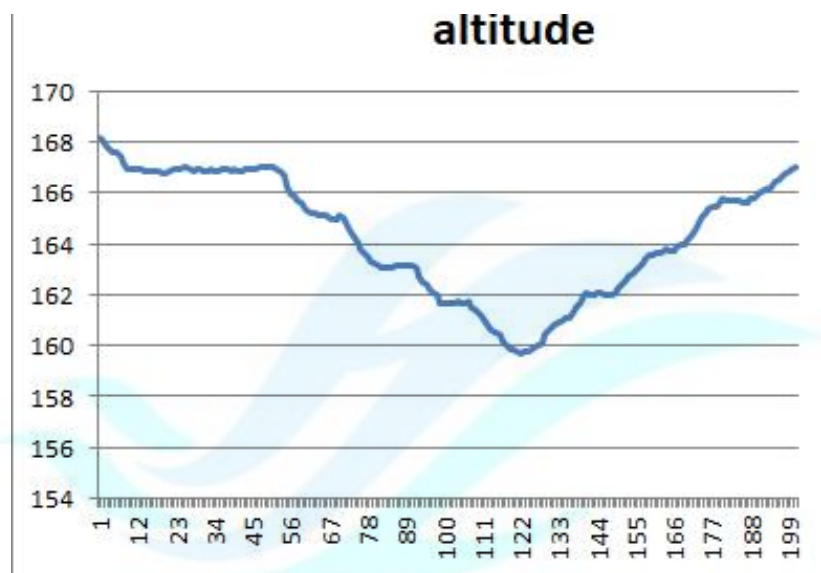


그림 24. 필터가 적용된 고도 변환 결과

그림 24는 필터를 적용시켜 센서의 잡음이 줄어든 고도의 값이다. 3층에서 1층까지 계단으로 이동 후 다시 3층으로 이동했을 때의 고도 값이며, 건물 1층의 고도는 약 160m, 한 층의 높이는 약 3.5m이며 주로 실험이 진행된 3층의 높이는 약 167m이다. 그림 25에서 초반에 168m에서 167m까지 내려가는 부분은 실제 이동이 아닌 필터로 인한 센서의 안정화 구간이다.

2) <http://www.winfilter.20m.com>



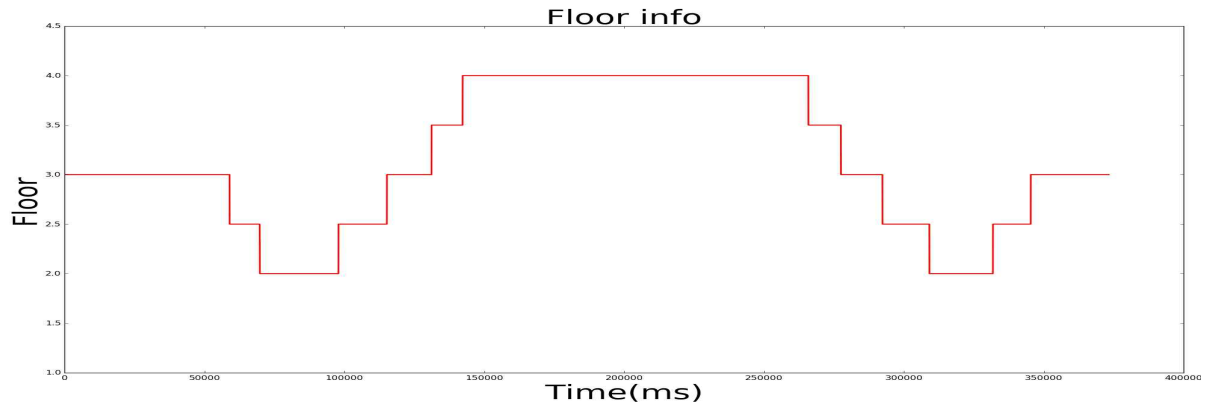


그림 25. 고도로 층을 양자화한 결과

3.4절의 내용과 같이 고도 값을 그대로 사용할 경우 소지방법에 따른 오차가 생길 수 있으므로 고도는 3층 건물을 기준으로 5개의 층으로 양자화 한다. 실험환경인 건물의 한 층의 층고는 약 3.5m인데 본 연구의 목표는 계단의 중간, 층의 변화를 찾는 것이기 때문에 건물을 계단의 중간지점이 있는 1개 층의 반 즉, 1.75m 단위로 양자화 한다. 그림 25는 고도를 건물의 층으로 양자화 한 결과이다.

필터를 적용한 고도 값은 한 걸음을 걸을 때 마다 사용된다. 한 걸음 진행 시 적절한 임계값을 설정하여 고도의 변화가 임계값을 넘지 않으면 평지를 걷고 있다고 인식, 그렇지 않다면 계단을 이동 중이라 인식하여 배열에 저장하고, 연속된 걸음에 대한 이 값들을 패턴으로 만들어 계단을 찾는데 사용한다. 패턴을 만들기 위한 임계값은 센서의 오차를 고려하여 40cm로 정하였다. 연속된 걸음에서 계산된 고도의 변화량이 미리 정한 임계값을 넘지 않는다면 평지를 걸었다고 인식시켜 패턴의 저장되는 인자의 값을 0으로 결정하고, 차이 값이 양수이면 +1, 음수이면 -1로 설정했다. 그림 26은 이 값들을 그림으로 나타낸 모습이다.



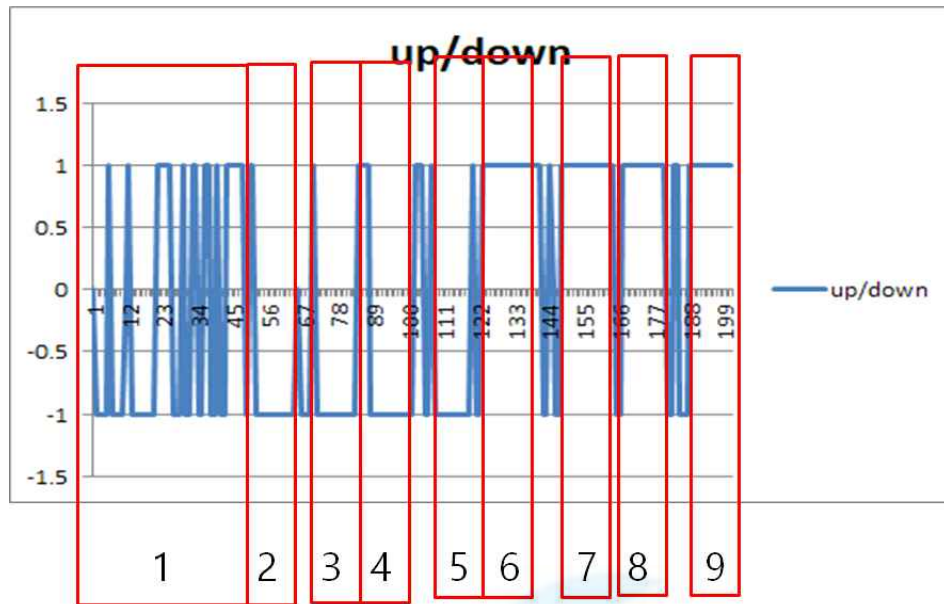


그림 26. 한 걸음마다 고도의 값을 비교하여 만든 패턴

그림 26의 1번 구간은 평지를 이동 중일 때의 패턴이다. 필터를 적용시켰음에도 센서의 잡음과, 걷는 방식에 따라 발견하는 형태의 모습을 나타낸다. 2, 3, 4, 5번 구간은 계단을 이용해 층을 내려갈 때의 모습이다. 계단 중앙을 지날 때를 제외하고 안정적인 형태를 보인다. 6, 7, 8, 9번 구간은 다시 계단을 이용하여 층을 올라갈 때의 모습이다. 내려갈 때와 마찬가지로 안정적인 형태의 파형을 보인다. 3.4 절의 내용과 같이 패턴을 비교하는 윈도우의 크기를 5, 7, 11 걸음 단위로 비교해본 결과 11걸음일 때 가장 효과적이며, 11걸음을 윈도우의 크기로 지정했다.

	#1	#2	#3	#4	#5	정확도
층간(횟수)	10	10	9	10	9	96%
계단(횟수)	20	19	17	18	18	92%

표 2. 층 인식 실험 결과

계단에서 위치를 보정하기 때문에 계단을 인식하는 정확도는 시스템 성능에 큰 영향을 미친다. 계단을 인식하는 정확도를 확인하기 위해 한 층을 왕복 5번 이동하는 실험을 진행했다. 20대 성인 남자 1명이 스마트폰을 손에 소지하고 걸으며 건물의 2층과 3층을 5번 왕복하며 진행되었다. 총 5회의 실험이 진행되었으며 한 번의 실험 동안 10번의 층의 변화가 있었고, 20번 계단의 중간 지점을 지나갔다. 계단의 중간 지점은 패턴 윈도우의 크기인 11걸음을 연속으로 내려가 다시 평지가 시작되는 지점이라 정의한다. 표 2는 실험의 결과를 나타낸다.

실험 결과 한 층의 변화는 총 50번 중 48번 인식하였으며, 계단의 중앙을 지날 때는 총 100번 중 92번 인식되었다. 표 2를 보면 실험의 횟수가 증가 할수록 정확도가 낮아지는 현상을 확인할 수 있는데, 이는 시간이 지남에 따라 기압이 변화하지만 이를 고려하지 않고 동일한 해수면 압력을 입력하여 나타난 결과로 판단된다.

#### 4.5 기존 시스템과 비교

가속도 센서의 크기를 이용하여 걸음 수를 검출하고 매 걸음마다 평면 상의 좌표를 생산, 이를 \*.csv 형태의 파일로 저장한다. 실험을 진행하기 전에 건물 구조의 특성을 알아한다. 실험은 공학관 3층의 1336호 연구실에서 시작하여 중앙계단을 통해 2층으로 내려갔다가 서쪽 계단을 통해 다시 3층으로 올라오는 방법으로 진행하였으며, 일자형태의 복도이다. 복도의 길이는 약 105m, 폭은 약 2m이며 실험 중 계단을 인식할 때 마다 보행자의 현재 위치를 가장 가까운 계단의 위치로 이동시켜 누적된 오차를 제거한다.

그림 27은 계단에서 위치를 보정할 때와 그렇지 않을 때의 결과를 나타낸 것이다. 파란색이 계단에서 위치가 보정과 이동방향이 양자화 된 경우이고, 빨간색은 그렇지 않은 경우이다. 사각형으로 표시된 부분은 건물의 계단 중간부분을 표시한 것이며 이때 위치 보정이 진행되어 차이가 생긴 결과이다.

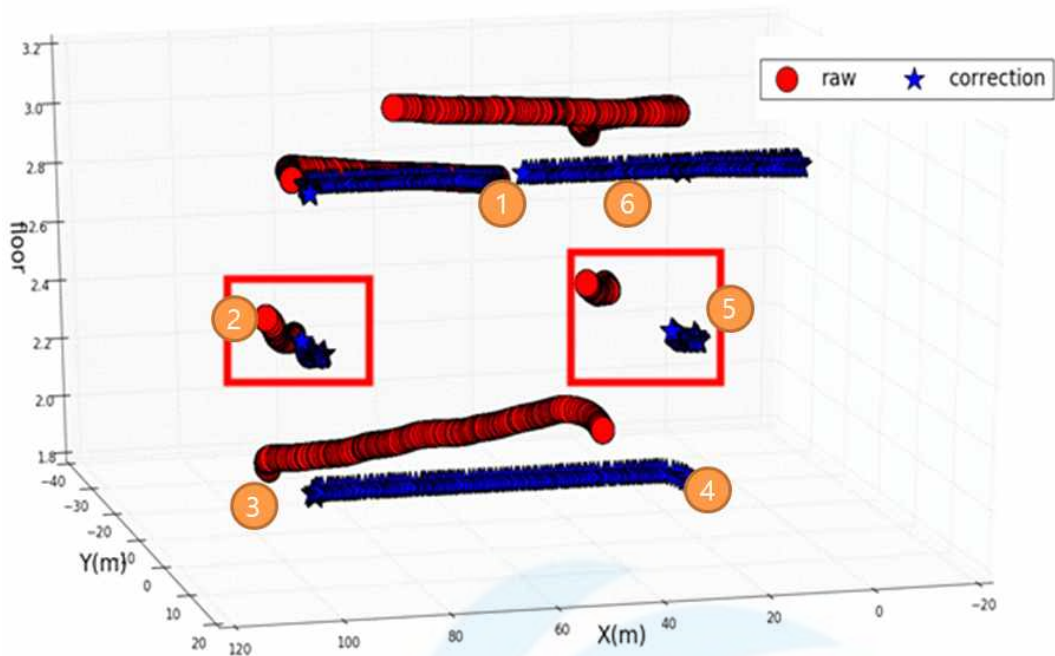


그림 27. 다층 건물에서 누적오차 제거 실험 결과

그림 27에서 이동 순서는 1→6의 위치로 진행하였으며 1은 1336호 연구실, 2는 중앙 계단의 중간 지점, 3은 2층 중앙계단, 4는 2층 서쪽 계단, 5는 서쪽 계단의 중간지점, 6은 3층 서쪽계단이다. 1의 시작위치는 동일하지만 시간이 지남에 따라서 두 궤적의 차이가 점점 커지는 것을 볼 수 있다. 이동방향이 양자화 된 경우 실제 경로와 같이 직선의 이동궤적이 나타나지만 그렇지 않은 경우 오차가 큰 이동궤적을 생성한다. 3과 6을 보면 알 수 있듯이 시간이 지남에 따라 누적되는 오차로 최종 결과의 차이가 크게 나타나는 전형적인 PDR의 모습을 보인다.

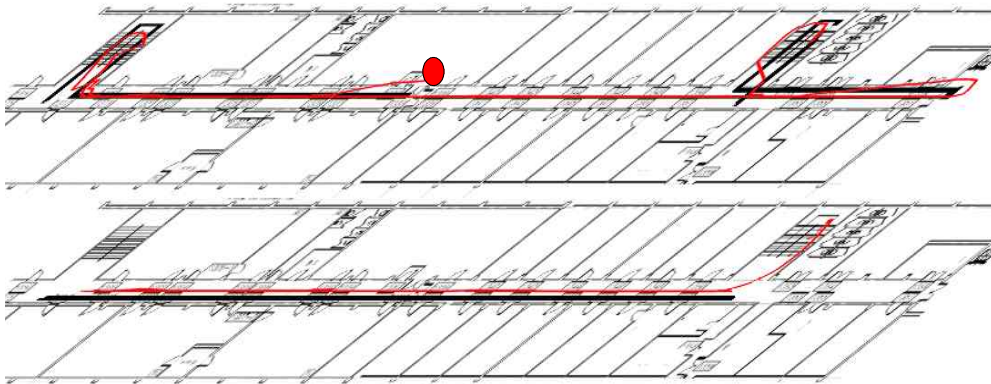


그림 28. 다층 건물에서의 실험 결과

그림 28은 제안된 시스템의 실험 결과를 실제 건물의 지도에 표시한 모습이다. 빨간색 점이 시작 위치이며, 검정색 선은 실제 이동 경로, 빨간색 선은 제안된 방법을 통해 추정한 경로이다. 실제 실험 경로는 1336호실에서 출발하여 중앙 계단을 통해 2층으로 내려가 엘리베이터 쪽 계단을 통해 3층으로 올라와서 엘리베이터까지 이동 후 다시 1336호실로 돌아오는 경로이다. 2층과 3층을 구분하며 계단에서 보정이 진행되어 실제 경로와 유사한 결과를 보여준다.

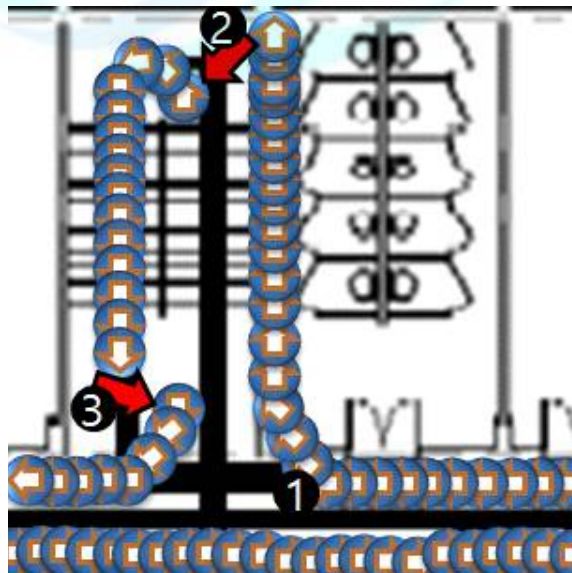


그림 29. 계단에서 위치 보정

그림 29는 계단에서 위치를 보정한 결과이다. 실험 방법은 2층에서 3층으로 계단을 이용해 한 층을 올라가 위치가 보정되는 것을 확인했다. 1과 2사이의 구간을 보면 PDR의 오차로 인하여 계단에 도착하여 계단을 오르고 있지만 지도의 영역을 벗어나는 것을 확인할 수 있다. 그리고 실제 평지를 걸을 때와는 다르게 계단을 올라갈 때는 한 걸음의 길이가 속도와 상관없이 계단의 너비만큼 동일하지만 현재 걸음 길이 추정방법으로 인해 계단의 너비와 다르게 영역을 벗어나는 것을 확인할 수 있다. 2번 지점에서 계단의 중간지점을 인식했으며 이때 위치를 보정한 모습을 화살표로 표시하여 그림으로 나타냈다. 3번 구역은 층의 변화(2층에서 3층으로 이동)를 인식하여 다시 위치를 보정한 모습을 나타냈으며, 원하는 지점에서의 위치 보정이 이루어진 것을 확인하였다.



## 5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 실내 위치 추적 기법 중 하나인 PDR의 단점인 누적 오차를 제거하기 위해 스마트폰에 내장되어있는 기압 센서를 이용하여 다층 건물에서의 실내 위치 추적 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템을 검증하기 위해 기압 센서를 이용하여 보행자가 계단을 올라갈 때와 내려갈 때를 감지하는 실험을 진행 하였다. 그 결과 약 96%의 정확도로 층의 이동을 검출 하였고, 일반적인 건물에 계단이 많이 있지 않기 때문에 계단의 위치를 이용하여 누적 오차를 제거하는 시스템이 PDR의 성능 향상에 유효한 것을 그림 29와 그림 30의 실험 결과를 통해 확인 할 수 있었으며, 기존의 PDR은 누적오차를 제거하기 위해 Wi-Fi, RFID, 비컨 등의 추가적인 장치를 설치하는데 비해 제안한 시스템은 스마트폰에 내장되어 있는 기압 센서를 사용하기 때문에 추가적인 유지보수 및 비용이 들지 않는다는 장점을 가지고 있다. 4.4절의 실험 결과에서는 기압을 이용해 고도를 계산하는 방법은 날씨에 매우 민감하기 때문에 시간이 지날수록 기압에 변화에 따라서 정확도가 낮아지는 문제점을 확인할 수 있었다.

향후 연구 과제로는 시간에 따른 기압의 변화에 따라 정확도가 낮아지는 문제점을 해결하기 위해 자기장 세기에 대한 연구를 수행할 것이다. XML 파싱 등을 이용하여 실시간으로 해수면 기압을 적용시켜 기압의 변화에 대응하는 방법도 있지만 이는 스마트폰이 반드시 네트워크에 연결되어 있다는 추가적인 조건을 가진다. 따라서 2장에서 언급한 바와 같이 자기장은 시간의 영향을 크게 받지 않는 장점을 가지고 있다. 자기장의 세기를 동적 시간 워핑(Dynamic time warping; DTW)하여 시간과 관계없이 동일한 경로에서 동일한 결과가 나올 것이다[22]. 이러한 기술을 혼합한다면 기압의 변화와 상관없이 현재 층을 찾고 이를 이용하여 시간에 따른 기압변화에 대응 할 수 있을 것이다.



## 참 고 문 헌

- [1] 이정호, 신범주, 함보라, 박진우, 이택진, “스마트 폰을 이용한 Wi-Fi 와 IMU 기반의 보행자용 실내 항법 시스템”, 한국 통신학회 학술대회 논문집, vol.1, no.83, pp. 173-174, 2012
- [2] AH Sayed, A. Tarighat, N. Khajehnouri, “Network-based Wireless Location”, IEEE Signal Processing Magazine, vol.22, no.4, pp. 24-40, 2005
- [3] 유재준, “실내 위치 기반 서비스 기술개발 및 표준화 동향”, Electronics and Telecommunications Trends, pp. 51-61, 2014
- [4] 이경진, “스마트 폰을 이용한 액티비티 시퀀스와 핑거프린팅 방식 기반 실내 보행자 위치인식”, 한국통신학회, 2016
- [5] M.Hazas, J.Scott, and J.Krumm, "Location-Aware Computing Comes of Ages.", IEEE Computer Magazine, vol.37, no.2, pp. 95-97, 2004
- [6] 지명인, 조영수, 박상준, 임동선 “Wi-Fi 기반 실내 위치추정 기술개발 동향”, The Journal of The Korean Insitute of Communication Sciences, vol.28, no.7, pp 52-58, 2011
- [7] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: an inbuilding RF-based user location and tracking system.", in proceedings of 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.
- [8] 조영수, 조성윤, 김병두, 이성호, 김재철, 최완식, “실내외 연속 측위 기술 동향”, 전자통신동향분석, vol.2, no.3, pp.20-28, 2007
- [9] Baoding Zhou, “Activity Sequence-Based Indoor Pedestrian Localization Using Smartphones”, IEEE TRANSACTION ON HUMAN-MACHINE SYSTEMS, vol.45, no.5, pp. 562-574, 2014

- [10] Stephane Beauregard, Harald Haas, "Pedstrian Dead Reckoning : A Bais for Personal Positioning", PROCEEDINGS OF THE 3rd WORKSHOP ON POSITIONING, nAVIGATION AND COMMUNICATION, 2006
- [11] 김대영, 송창근, 이선우, “스마트폰 추측항법 및 WiFi 지문을 이용한 실내 위치 추적”, 정보과학회 논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터 vol.20, no.2, pp.61-67, 2014
- [12] NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION, <http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM>
- [13] 장호준, 최린, “지구 자기장 Finger-Print 및 추측 항법을 결합한 실시간 실내 위치정보 서비스 연구”, 한국정보과학회 학술발표논문집, vol.23, no.4, pp.551-553, 2016
- [14] Susanna Kaiser, “Detecting Elevators and Escalators in 3D Pedestrian Indoor Navigation”, Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2016
- [15] 문현석, 김창운, 이우식 “스마트폰 기압센서 퓨전을 통한 붕괴지역 매몰자의 매몰깊이 추정 모델 개발”, 한국정보과학회 학술발표논문집, pp. 13-15, 2016
- [16] 최종준, 최현영, 도승복, 김현수, “기준국을 이용한 실내·외 절대 고도 산출 및 3D 항법”, 한국통신학회 논문지, vol.40, no.1, pp.166-170, 2015
- [17] Nguyen huu khanh, “A Heading Estimation based on Smartphone Holding Styles”, 한국 HCI 학회, 2016
- [18] Nguyen huu khanh, “An Indoor/Outdoor Detection Method based on Smartphone”, 한국 HCI 학회, 2017
- [19] Kate crosby, "How to measure stride or step length for you pedomoter", <https://www.walkingwithattitude.com/articles/features/how-to-measure-stride-or-step-length-for-your-pedometer>
- [20] Beomju Shin, “Motion Recognition-Based 3D Pedestrian Navigation System Using Smartphone”, IEEE Sensor Journal, vol.16, no.18, pp. 6977-6989, 2016



- [21] "A quick derivation relating altitude to air pressure", Portland State Aerospace Society, 2004
- [22] Yuanchao Shu, Cheng Bo, Guobin Shen, Chunshui Zhao, Liqun Li, and Feng Zhao, "Magicol: Indoor Localization Using Pervasive Magnetic Field and Opportunistic WiFi sensing", IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, vol.33, no.7, pp.1443-1457, 2015



# 스마트폰 센서를 이용한 다층 건물에서의 실내 위치 추적 시스템

2018

석사학위논문

이경호

전자공학과

지도교수 : 이선우

## 국문초록

본 논문에서는 기존의 보행자 추측 항법(Pedestrian dead reckoning; PDR)의 주된 문제점인 누적오차를 최소화 하고자 스마트폰에 내장되어있는 기압 센서를 사용하였다. 고도에 따라서 변화하는 기압센서의 출력을 이용하여 건물 내 계단, 엘리베이터 등과 같이 고도차가 있는 특정 위치를 찾아 현재의 위치를 특정 위치로 이동시켜 위치를 보정하여 누적오차를 제거하는 방법을 제안하였다. 걸음을 검출할 때 마다 고도의 변화량을 계산해 이에 대한 임계점을 지정하여 임계점을 넘으면 변화가 있다고 인식하여 고도의 증감에 따라서 특정 변수를  $+1/0/-1$ 의 형태로 지정해 이를 하나의 패턴으로 만들었다. 임계점은 센서의 오차를 고려하여 40cm로 지정하였고, 패턴의 길이는 실험환경인 건물의 계단 중간을 지나는 11걸음으로 지정하여 실험을 진행하였다. 실험결과 96%의 정확도로 층의 이동을 인식하였으며, 실험횟수의 증가에 따라서 기압 변화로 인해 정확도가 낮아지는 문제가 있었지만 실시간 해수면 기압을 입력했을 때 정확도가 높아진다는 점도 알 수 있었다. 일반적인 건물에는 계단이 많이 있지 않기 때문에 계단의 위치를 이용하여 누적 오차를 제거하는 시스템이 PDR의 성능 향상에 유효한 것을 실험을 통해 확인하였으며, 고도에 대한 정보를 이용하여 다층 건물에서의 실내 위치 추적이 가능해졌다.

핵심어: 스마트폰, 관성 센서, 실내 위치 추적

# **An Indoor Positioning System for Multi-story Building Using Sensors of Smartphone**

2018

Master's Degree

Lee, Kyung Ho

Department of Electronic Engineering

Advisor Prof. Lee Seon Woo

## **Abstract**

In this paper, we propose using barometer of a smartphone to minimize the cumulative error which the main problem of pedestrian dead reckoning(PDR). Using the output of the barometer which changes according to the altitude, we proposed a method to remove the accumulated error by correcting the position by moving the current position to a specific position by finding a certain position with altitude difference such as stairs, elevator in the building. When a step is detected, a change of altitude is calculated and a critical point is determined. If it exceeds a threshold, it is recognized that there is a change, and specific variables is designated as a form of +1/0/-1 in accordance with the increase or decrease. The threshold was set to 40cm in consideration of the error of the barometer, and size of the pattern was designated as 11 steps passing through the middle of the stair of the building, which is an experimental environment. Experimental results showed that the level of the building movement was recognized with 96% accuracy and it was lowered due to pressure change according to the increase of the experiment number. However, it was also found that the accuracy was increased when the realtime sea level pressure was inputted. Since there are not many stairs in a general building, it is confirmed through experiments that system for removing cumulative errors using the position of stair is effective for improving the performance of the PDR.

**keywords :** smartphone, sensor, indoor positioning